

Provincia di Cuneo
S.S. 28 del Colle di Nava
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6 "Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. T008

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	MANDATARIA: 	MANDANTI:  POLITECNICA BUILDING FOR HUMANS	MATILDI+PARTNERS
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	IL PROGETTISTA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i>		
IL GEOLOGO: <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL Ordine Geologi Veneto n. A501</i>	GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i>		
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i>	OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i>		
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i>	GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i>		
PROTOCOLLO:	DATA:		

11 – OPERE D'ARTE MAGGIORI: GALLERIA
11.2 – GALLERIA NATURALE
LINEE GUIDA PER L'APPLICAZIONE DELLE SEZIONI TIPO

CODICE PROGETTO	NOME FILE	PROGR. ELAB.	REV.	SCALA:
DPT00008D16	11-07_P00_GN00_STR_RE04_B	11-07		/
	CODICE ELAB.			
	P00GN00STRRE04		B	
D				
C				
B	Istruttoria ANAS	Mag. 2020	Technital	Longo S. Piccoli E. Pesce C.
A	EMISSIONE	Mar. 2020	Technital	MbarognoSC. Piccoli E. Pesce C.
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO VERIFICATO APPROVATO

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	1
2.	ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO.....	4
3.	DESCRIZIONE DELLA GALLERIA.....	5
3.1.	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MODALITÀ DI SOSTEGNO	5
3.1.1.	Sezione tipo B0.....	6
3.1.2.	Sezione tipo B0V.....	7
3.1.3.	Sezione tipo B2V.....	7
3.1.4.	Sezione tipo P0 (piazzola)	9
3.1.5.	Sezione tipo P1 (piazzola)	10
3.1.6.	Sezione tipo P2 (piazzola)	11
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	13
4.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	13
4.2.	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DI PROGETTO.....	17
5.	MATERIALI	19
6.	PREVISIONE DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO DEL FRONTE E DEL CAVO	21
6.1.	SEZIONI DI ANALISI PER LA PREVISIONE DELLA RISPOSTA TENSO-DEFORMATIVA.....	21
6.2.	SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME	22
6.3.	RISCHI CONNESSI ALLO SCAVO.....	24
7.	CAMPI D'APPLICAZIONE E VARIABILITÀ' DELLE SEZIONI TIPO.....	26
7.1.	CRITERI PER L'APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA.....	26
7.2.	SEZIONI TIPO.....	27
7.3.	SEZIONE TIPO B0.....	28
7.3.1.	Campo di applicazione	28
7.3.2.	Fasi esecutive	28
7.3.3.	Variabilità.....	29
7.4.	SEZIONE TIPO B0V	29
7.4.1.	Campo di applicazione	29

7.4.2.	Fasi esecutive	29
7.4.3.	Variabilità.....	29
7.5.	SEZIONE TIPO B2V	30
7.5.1.	Campo di applicazione	30
7.5.2.	Fasi esecutive	30
7.5.3.	Variabilità.....	31
7.6.	SEZIONE TIPO P0.....	31
7.6.1.	Campo di applicazione	31
7.6.2.	Fasi esecutive	31
7.6.3.	Variabilità.....	31
7.7.	SEZIONE TIPO P1	32
7.7.1.	Campo di applicazione	32
7.7.2.	Fasi esecutive	32
7.7.3.	Variabilità.....	32
7.8.	SEZIONE TIPO P2.....	32
7.8.1.	Campo di applicazione	32
7.8.2.	Fasi esecutive	33
7.8.3.	Variabilità.....	33
8.	CONCLUSIONI	34

1. INTRODUZIONE

La nuova tangenziale di Mondovì (Cuneo) rientra nel piano di riordino del sistema viario del Piemonte Sud Occidentale. Sviluppata interamente nel territorio comunale di Mondovì drena il flusso di traffico proveniente dal quadrante Sud-Est collegando la S.S.28, la S.P.5 e la S.S.564 con l'Autostrada A6 Torino-Savona presso lo svincolo di Mondovì.

La progettazione e realizzazione della suddetta arteria stradale è stata suddivisa in 3 lotti funzionali, Figura 1-1, dei quali i primi due sono stati già completati e sono pienamente operativi, mentre il terzo è oggetto di progettazione.

Il lotto 3 di cui al presente Progetto Definitivo è lungo 2692 m circa e, con direzione sostanzialmente Est-Ovest, mette in collegamento a Sud del centro abitato la S.P.5 Villanova – Mondovì con la S.S. 28 del Colle di Nava.

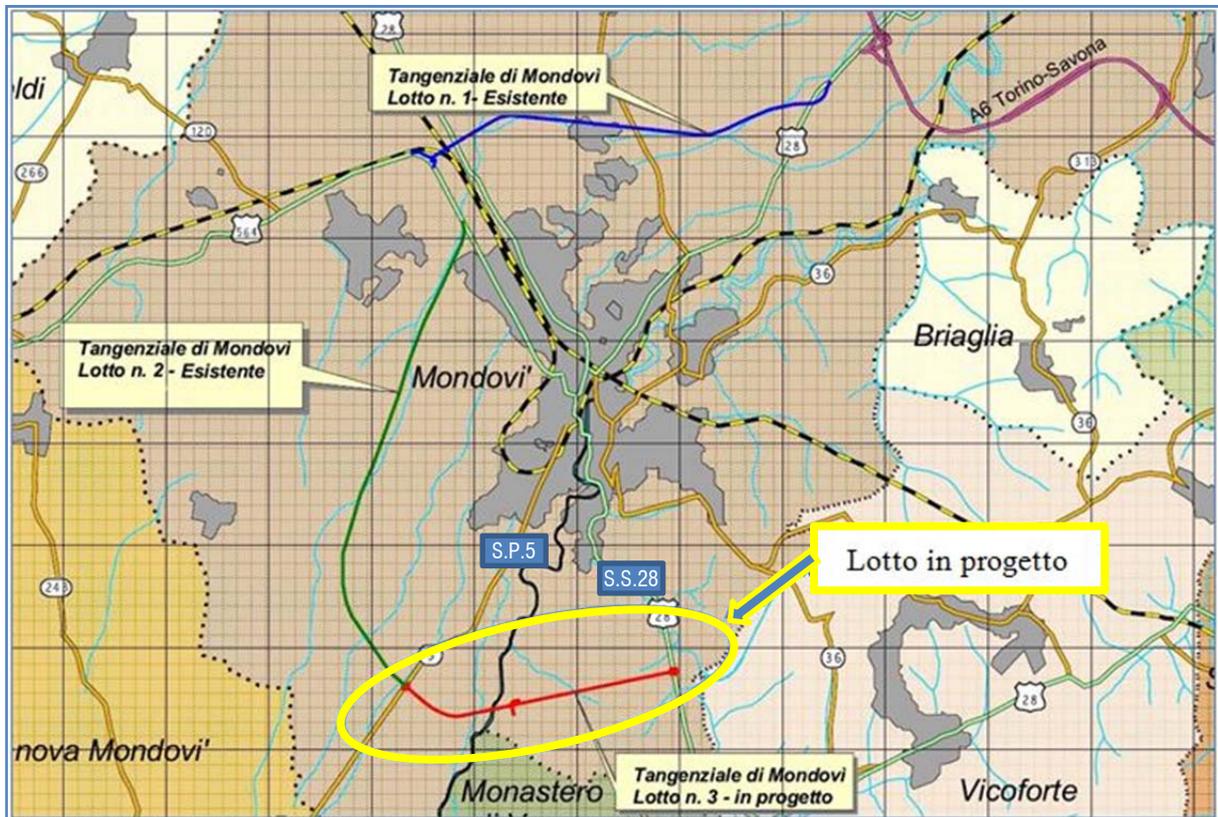


Figura 1-1 Tangenziale di Mondovì: individuazione del lotto in progetto

L'arteria stradale, in analogia con i lotti precedenti, è una classe C1 a doppio senso di marcia con corsie da 3.75 m e banchine laterali da 1.5 m.

L'intervento ha inizio sull'esistente rotatoria lungo la S.P.5, al termine del lotto 2, per poi proseguire in direzione Est. Dopo un tratto di circa 500m che vede in sequenza un tratto in rilevato, uno in scavo ed una galleria artificiale, il tracciato scavalca il Torrente Ellero su viadotto e raggiunge in sponda destra il piede della collina monregalese di S.

Lorenzo, poco a valle di Via Vecchia di Frabosa. Al viadotto fa immediatamente seguito la galleria naturale S. Lorenzo, che attraversa una dorsale allungata in direzione Nord – Sud. L'opera in sotterraneo sottopassa non solo Via Vecchia di Frabosa ma anche altre due viabilità ad essa parallele, poste a quota maggiore, che sono Via delle Oche e Via Vecchia di Monastero. Terminata la galleria naturale il tracciato prosegue con un breve tratto all'aperto di circa un centinaio di metri fino a collegarsi, tramite una seconda rotatoria, con la S.S.28.

La presente relazione riguarda nel dettaglio la galleria naturale S. Lorenzo. L'opera è compresa tra progressive 1+125,00 e 2+536,92 ed ha quindi uno sviluppo totale di 1411,92 m, di cui 1296 m in naturale ed i restanti in galleria artificiale, con 60 m in corrispondenza dell'imbocco ovest e 55,92 m in quello est.

Si tratta di una galleria a canna unica, caratterizzata, nella sezione corrente, da un raggio interno di 6,45 m, in modo da contenere una carreggiata di tipo C1 con le stesse caratteristiche geometriche di quella all'esterno, con una larghezza complessiva di 10,50 m, comprendenti le due corsie di marcia da 3,75 m ciascuna e le due banchine laterali da 1,50 m ciascuna; queste ultime sono delimitate, come previsto dalla vigente normativa, da New Jersey a ridosso dei piedritti della galleria stessa, con a tergo il vano per l'alloggiamento dei cavidotti per gli impianti.

La copertura litostatica varia tra un minimo di circa 4 m agli imbocchi fino ad un massimo di 110 m nel settore centrale e gli ammassi interessati sono costituiti essenzialmente dalle marne sabbiose più o meno argillose della formazione delle Marne di S. Agata e dalle arenarie sabbioso marnose della formazione di Lequio..

La tipologia di avanzamento prevede lo scavo a piena sezione con la realizzazione di consolidamenti al contorno e/o al fronte nelle zone di bassa copertura e maggior fratturazione e solo con centine e spritz dove l'ammasso presenta coperture adeguate e migliori caratteristiche geomeccaniche.

La seguente Figura 1-2 riporta uno stralcio del profilo di progetto a scale sfalsate.

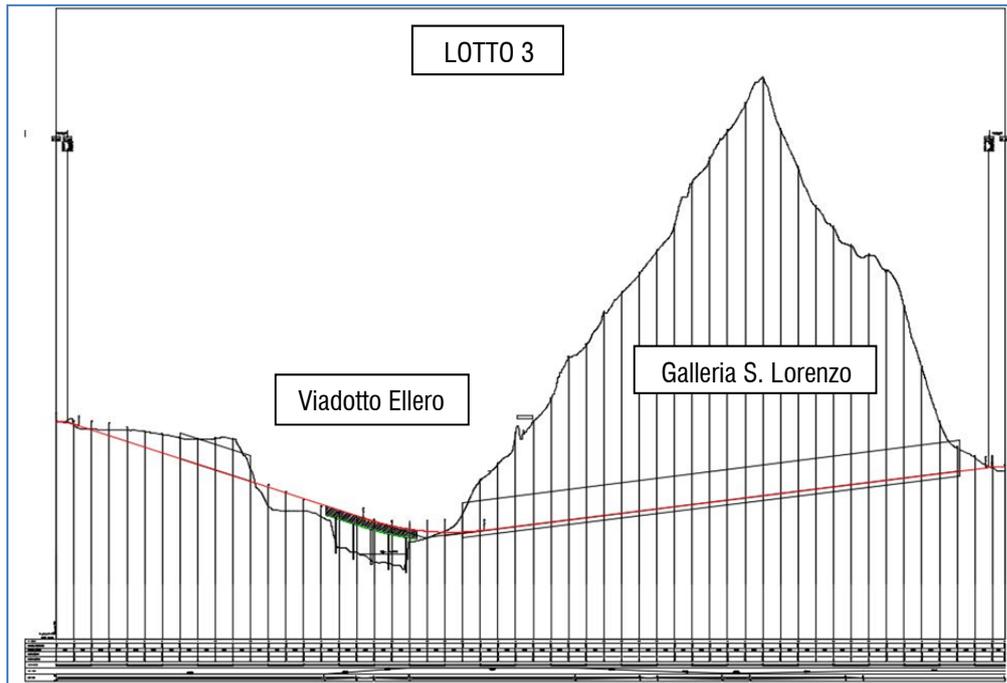


Figura 1-2 Profilo di progetto

Dopo avere illustrato la metodologia di sviluppo della progettazione ed individuato il quadro geologico-geomeccanico di riferimento, nella presente relazione si descriveranno in dettaglio le sezioni tipo previste, considerando per ciascuna di esse il campo di applicazione, le fasi costruttive e gli interventi da eseguire.

Verranno inoltre descritti i rilievi e i monitoraggi da effettuare in corso d'opera, che permetteranno di confrontare le effettive condizioni tenso-deformative degli ammassi intercettati con i valori attesi individuati in sede di progetto ed indicati nel presente documento, così da consentire l'eventuale adeguamento della sezione di avanzamento adottata.

2. ELABORATI PROGETTUALI DI RIFERIMENTO

I seguenti elaborati progettuali sono di riferimento per il presente documento:

- Relazione geologica
- Relazione geotecnica
- Relazione geomeccanica
- Profilo geomeccanico della galleria naturale
- Relazione di calcolo della galleria naturale

3. DESCRIZIONE DELLA GALLERIA

3.1. CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E MODALITÀ DI SOSTEGNO

La dorsale di San Lorenzo fra le progressive 1.200m e 2.500 m (sezioni 29-55) viene superata mediante la galleria naturale S. Lorenzo, lunga circa 1.400 m ed avente copertura massima nel tratto centrale di circa 110m. Gli scavi si svilupperanno alle due estremità nelle marne con subordinate intercalazioni di arenarie della Formazione di S. Agata Fossili, un materiale lapideo o pseudolapideo ed a permeabilità modesta. I sondaggi eseguiti hanno evidenziato la presenza, nel tratto centrale della galleria, di un'unità stratigrafica costituita da arenarie da poco a mediamente cementate con subordinate alternanze di marne, conglomerati e calcari marnosi attribuita alla Formazione di Lequio.

Lo scavo della galleria avverrà a piena sezione. Le problematiche che si potranno verificare in fase di scavo sono correlate:

- entro le formazioni marnose ed arenacee di S. Agata e Lequio alla spiccata eterogeneità dei litotipi. Si tratta infatti di formazioni di natura flyschide, dove variazioni laterali e verticali anche repentine sono piuttosto comuni. Tali variazioni riguardano la natura litologica (marne, marne argillose, marne calcaree, sabbie, ghiaie, arenarie, conglomerati ecc), la fratturazione, la consistenza ed il grado di cementazione, tanto che le carote ed i campioni prelevati, pur a parità di unità litologica, sono descritti ora come terrosi ora come litoidi o più spesso pseudolitoidi. In relazione allo scavo, quindi, si potranno attraversare tratti di qualità rocciosa mediocre, nei quali non sono da escludere possibili instabilità al cavo legate al distacco di blocchi e frammenti rocciosi. Il fronte di scavo si può ritenere generalmente stabile, ad eccezioni di tratti a qualità rocciosa bassa correlati ad un abbassamento del grado di cementazione o RQD;
- agli imbocchi alla presenza di materiali detritici o sciolti (Cassano Spinola) e ad un presumibile incremento dello stato di fratturazione ed alterazione dell'ammasso roccioso superficiale, che potranno comportare fenomeni di instabilità a carico del cavo e del fronte;
- in corrispondenza delle faglie ad un presumibile incremento dello stato di fratturazione dell'ammasso roccioso che potrà comportare fenomeni di instabilità a carico del cavo.

Il progetto della galleria prevede l'adozione di 3 sezioni tipo correnti (B0, B0V, B2V) ed altrettante per le piazzole di sosta (P0, P1, P2), descritte di seguito, la cui finalità è quella di controllare le problematiche precedentemente esposte, limitando le plasticizzazioni e le convergenze al cavo e laddove necessario, controllare i fenomeni di estrusione al fronte di scavo. Nel dettaglio verranno adottate in maniera prevalente le sezioni tipo B0 e B0V entro la

3.1.2. Sezione tipo B0V

La sezione tipo B0V si applica sia nelle marne di S. Agata che nelle arenarie di Lequio dove l'ammasso presenta caratteristiche tali da richiedere il preconsolidamento del contorno di scavo. La sezione tipo prevede infatti una coronella di infilaggi metallici iniettati con miscele cementizie al contorno di scavo.

Il prerivestimento è costituito da due centine accoppiate IPN180, con interasse 1 m, rivestite con 0.30 m di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato mentre il rivestimento definitivo ha uno spessore minimo pari a 0.90 m in arco rovescio e variabile tra 0.60 e 1.23 m in calotta. Murette ed arcorovescio vengono gettati in opera ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri, la calotta a distanza non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La Figura 3-2 riporta la schematizzazione della sezione tipo B0V.

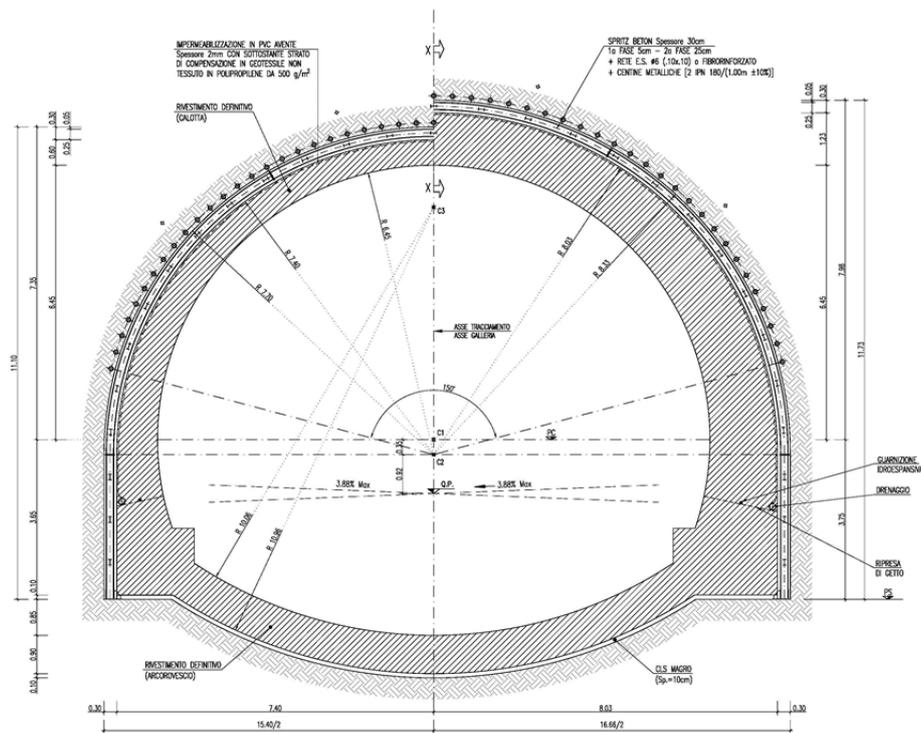


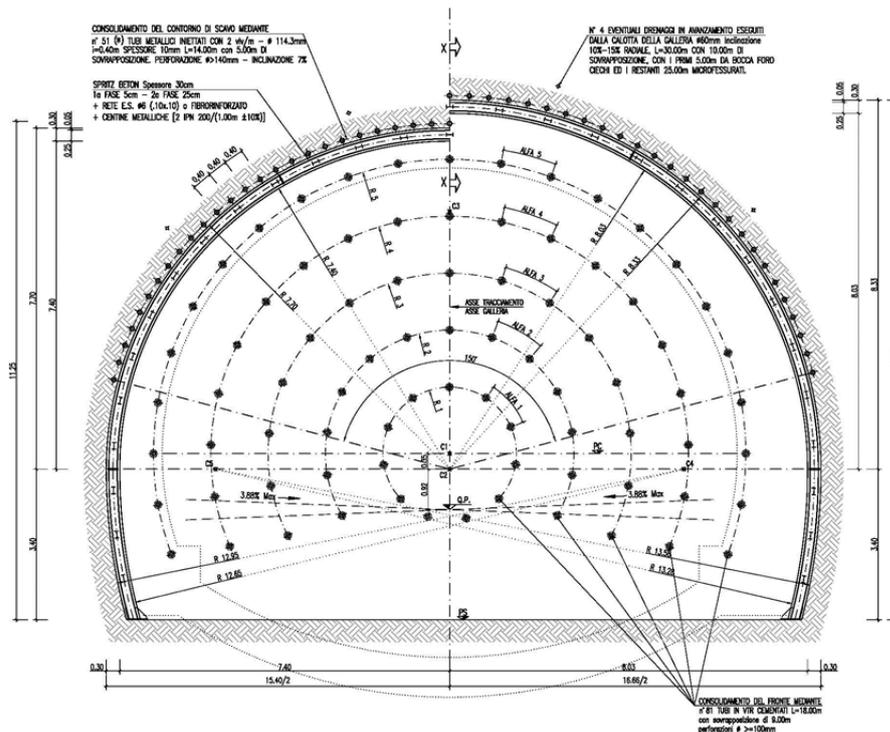
Figura 3-2 – Sezione tipo B0V

3.1.3. Sezione tipo B2V

La sezione tipo B2V si applica in corrispondenza delle tratte di imbocco dove sono presenti coperture ridotte e lo scavo interessa inferiormente la porzione alterata e superficiale delle marne di S. Agata, superiormente potrà lambire parzialmente materiali sciolti di copertura (depositi alluvionali o Cassano Spinola). Questa stessa sezione è

inoltre prevista nella parte centrale della galleria naturale, dove si prevede nuovamente la presenza delle marne di S. Agata, di qualità geomeccanica medio-bassa. In tutti questi tratti si ritiene necessario attivare un preconsolidamento sia del fronte che del contorno di scavo per limitare il detensionamento indotto alla massa rocciosa. La sezione prevede infatti la stabilizzazione del fronte mediante elementi strutturali in VTR cementati, e del cavo mediante una coronella di infilaggi metallici iniettati con miscela cementizie.

Il prerivestimento è costituito da due centine accoppiate IPN200, con interasse 1 m, rivestite con 0.30 m di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato, mentre il rivestimento definitivo ha uno spessore minimo pari a 0.90 m in arco rovescio e variabile tra 0.60 e 1.23 m in calotta e viene gettato in opera ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri per murette ed arco rovescio, 5 diametri per la calotta. suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Tali distanze di getto si riducono rispettivamente ad 1 diametro per arcorovescio e murette e 3 diametri per la calotta in prossimità delle aree di imbocco.



La

Figura 3-3 riporta la schematizzazione della sezione tipo B2V.

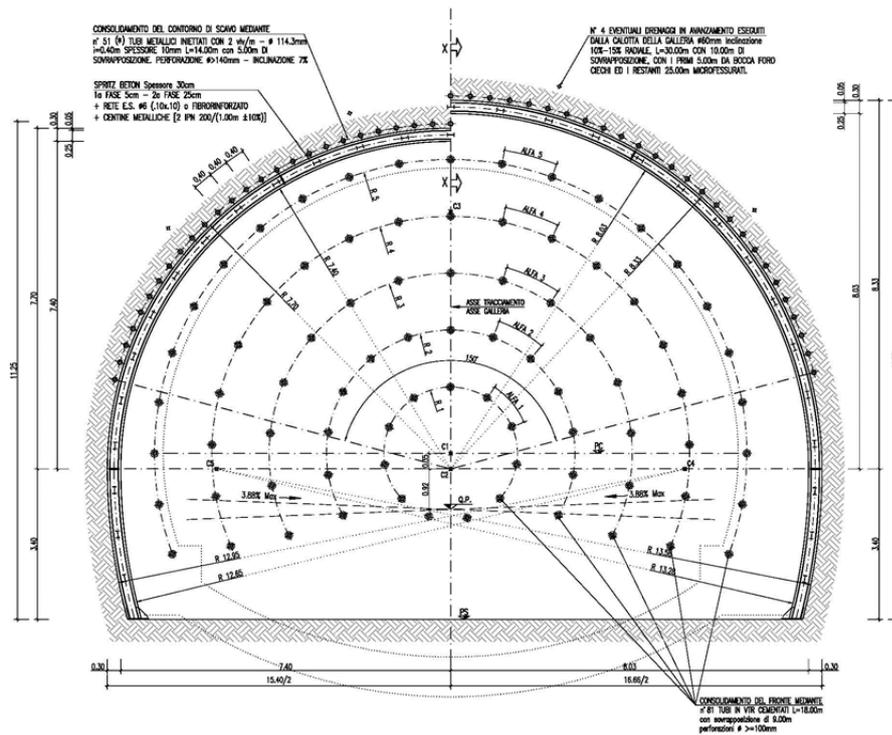


Figura 3-3 – Sezione tipo B2V

3.1.4. Sezione tipo P0 (piazzola)

La sezione tipo P0 si applica in corrispondenza delle piazzole da realizzarsi all'interno della formazione delle Arenarie di Lequio, laddove la qualità rocciosa dell'ammasso è tale da non richiedere alcun intervento di preconsolidamento.

Il prinvestimento è costituito da due centine accoppiate IPN200, con interasse 1 m, rivestite con 0.35 m di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato. Il rivestimento definitivo, di spessore pari a 0.90m in arco rovescio ed a 0.80 m in calotta, viene gettato in opera ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo.

La Figura 3-4 riporta la schematizzazione della sezione tipo P0.

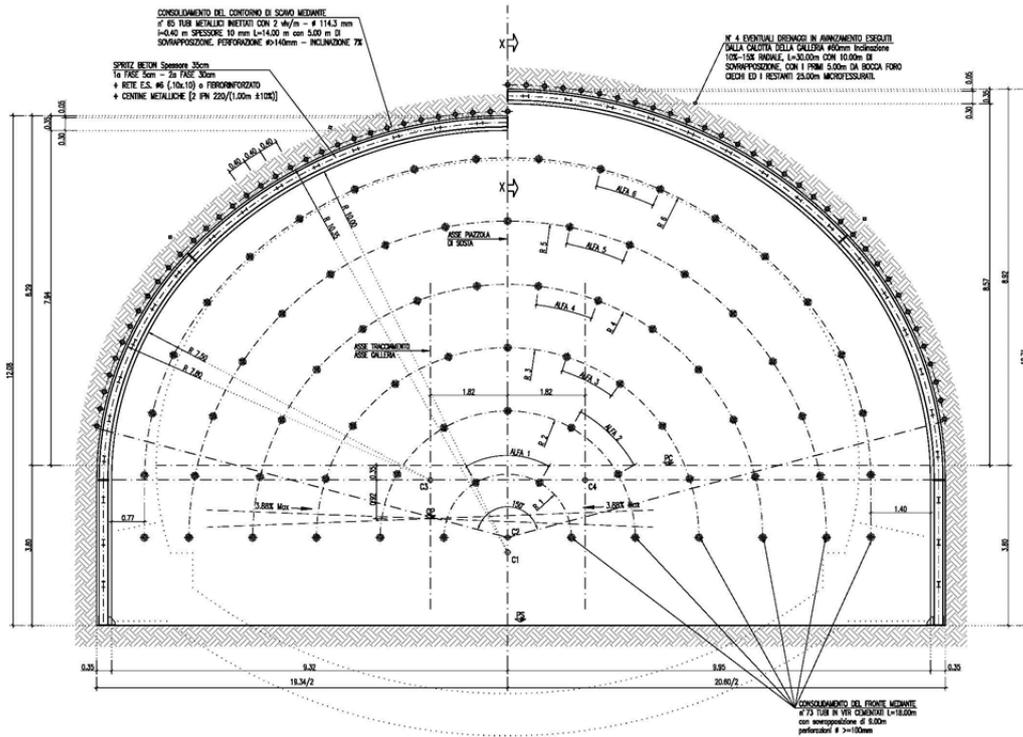


Figura 3-6 - Sezione tipo P2

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area in studio ricade all'interno del Bacino Terziario Piemontese (BTP), un vasto ambiente marino posto all'interno dell'arco delle Alpi Occidentali e nel quale si è depositata, fra la fine dell'Eocene e il Pliocene, una potente successione terziaria marina seguita nel Quaternario, fra Plio-Pleistocene e Olocene, da una successione di ambiente continentale. L'arco delle Alpi Occidentali che racchiude il BTP è costituito da una serie di terreni metamorfici e cristallini, ripetutamente corrugati in senso radiale, con forti ribaltamenti, rovesciamenti e scorrimenti accompagnati da importanti faglie.

Nel terziario buona parte del Piemonte, come tutta la Pianura Padana, è coperto dal mare. All'interno di quell'estrema porzione di depressione identificata dal BTP, bordata dalla catena alpina, avviene una deposizione per correnti di torbidità in facies di flysch e molassa provenienti prevalentemente dai quadranti occidentali (Gnaccolini 1968) che raggiunge spessori massimi di oltre 4000 m. Sono entrambi depositi clastici, costituiti quindi dallo smantellamento di rocce preesistenti affioranti in zone più o meno attigue, che confluiscono in aree bacinali. Tipicamente sono rappresentati dall'associazione, con spiccata variabilità laterale e verticale, di diversi litotipi fra cui arenarie cementate, conglomerati, peliti e marne. Nel caso del BTP le diverse unità stratigrafiche che si depongono nel bacino costituiscono fasce allungate in direzione NE-SO che descrivono una blanda monoclinale immergente generalmente verso N o NW. Segue una fase di regressione marina che culmina nel Messiniano con condizioni di mare poco profondo, passanti ad ambiente salmastro o lagunare per la progressiva chiusura del Mediterraneo che ormai costituisce un mare isolato rispetto all'atlantico dove l'evaporazione non è compensata dall'ingresso di sufficienti volumi d'acqua.

Nel Pliocene una nuova trasgressione marina porta ad una diffusa e nuova sommersione del Piemonte con la deposizione di Argille Azzurre relativamente omogenee e prive di stratificazione. Il livello marino torna quindi a diminuire portando alla deposizione di sabbie giallastre astiane, con talvolta orizzonti arenacei al tetto contenenti fossili di molluschi e foraminiferi bentonici.

Con l'avvento del Quaternario si registra la definitiva scomparsa del mare piemontese che lascia il posto ad un potente complesso granulare di origine continentale, deltizia e costiera, che disegna gli attuali sistemi collinari. L'ultimo grande contributo alla deposizione ed alla modellazione del territorio è fornito dall'alternarsi delle fasi glaciali e interglaciali che, con il loro importante trasporto delle acque e del vento rimodellano il territorio e permettono la deposizione di coltri alluvionali e fluvioglaciali prevalentemente granulari.

La successione stratigrafica che interessa il tracciato di progetto, interpretata dal basso verso l'alto, è di seguito descritta. Si sottolinea la difficoltà incontrata nell'attribuzione dei litotipi incontrati alle diverse formazioni indicate in letteratura e nella cartografia scientifica, dovuta alla presenza di unità marnose ed arenacee fra loro difficilmente distinguibili in assenza di precise datazioni micropaleontologiche:

- Formazione di Lequio: Prevalenti arenarie e subordinate marne del Tortoniano-Serravalliano;
- Marne di S. Agata Fossili: Prevalenti marne con subordinate arenarie del Tortoniano-Messiniano inferiore.;
- Formazione di Cassano Spinola: Alternanza irregolare di limi, sabbie ed argille con anche blocchi quarzoarenitici del Messiniano;
- Argille grigio azzurre del Pliocene inferiore;
- Depositi alluvionali attuali, antichi e dei piani terrazzati prevalentemente granulari, Quaternario.

Nel dettaglio, la galleria S. Lorenzo attraversa la collina omonima, Figura 4-1. Gli scavi si svilupperanno alle due estremità nelle marne con subordinate intercalazioni di arenarie della Formazione di S. Agata Fossili, Figura 4-2, un materiale lapideo o pseudolapideo ed a permeabilità modesta. I sondaggi eseguiti hanno evidenziato la presenza, nel tratto centrale della galleria, di un'unità stratigrafica costituita da arenarie da poco a mediamente cementate con subordinate alternanze di marne, conglomerati e calcari marnosi attribuita alla Formazione di Lequio, Figura 4-3. All'imbocco Est, lungo il tratto in approccio alla galleria naturale, le marne di S. Agata sono ricoperte dalla formazione di Cassano Spinola in forma di alternanze sabbioso limose o limoso sabbioso argillose, e subordinatamente ghiaioso sabbiose, con locale presenza di blocchi generalmente pluridecimetrici di quarzite, arrotondati, visibili anche in affioramento a margine della viabilità esistente. Lo spessore è di circa 10 m all'altezza della strada (Via Vecchia di Frabosa) in diminuzione verso l'alveo dell'Ellero (a valle). All'imbocco Ovest il tracciato interessa depositi alluvionali limoso sabbiosi debolmente argillosi in appoggio sulle marne di S. Agata Fossili.



Figura 4-1 - Vista sulla colina di S. Lorenzo dalla sponda sinistra dell'Ellero



Figura 4-2 - Marne di S Agata Fossili nel sondaggio S10 fra 10-15 m da p.c.



Figura 4-3 - Arenarie della F.ne di Lequio nel sondaggio S8 fra 100-105 m da p.c.

Dal punto di vista geomorfologico, lungo la collina di San Lorenzo la documentazione bibliografica disponibile evidenzia diffuse condizioni di pericolosità geomorfologica.

Sul versante orientale della collina le instabilità sono rappresentate generalmente da frane di colata localizzate lungo il versante orientale della collina, che risultano comunque esterne al tracciato di progetto e superficiali rispetto alle opere (poste in galleria).

Sul versante occidentale, occupato dai depositi sabbioso limoso argillosi della Formazione di Cassano Spinola in appoggio sul substrato marnoso, è invece presente un'ampia perimetrazione di frana quiescente all'interno della quale sono censite frane più piccole, quiescenti o potenzialmente attive generalmente per scivolamento o traslazione. Due di queste ricadono in prossimità dell'imbocco ovest della galleria. La frana più settentrionale non dispone di pregressi monitoraggi e dai rilievi di campo viene interpretata come quiescente o stabilizzata nelle porzioni intermedie e sommitali mentre nella porzione inferiore, a valle di Via Vecchia di Frabosa, sono osservabili fenomeni deformativi superficiali. Per la frana meridionale un monitoraggio inclinometrico effettuato da ARPA ha evidenziato possibili fenomeni deformativi stagionali, di modesta entità e concentrati entro i primi 4 m di profondità, nei settori intermedi e superiori. Tali deformazioni sono confermate da spostamenti osservati su una rete di caposaldi topografici e lesioni su fabbricati esistenti. Nella porzione inferiore non vi sono evidenze di fenomeni attivi significativi anche se le condizioni di stabilità, a livello dei depositi superficiali, possono cautelativamente essere ricondotte ad una condizione prossima all'equilibrio limite.

Dal punto di vista idrogeologico le formazioni rocciose interessate dalla galleria sono poco o mediamente permeabili per fratturazione e porosità. Con riferimento alla galleria in progetto, lungo il versante ovest della collina

di S Lorenzo i sondaggi hanno evidenziato una falda contenuta nelle sabbie limose del Cassano Spinola che, sostenuta dal sottostante substrato marnoso poco permeabile, si attesta a profondità variabile fra 1 e 4 m ma che stagionalmente si spinge sino a piano campagna. La presenza d'acqua a modesta profondità è confermata da periodici ristagni idrici, da alcuni piccoli pozzi usati a scopo agricolo e da una rete di fossi e canali di drenaggio, naturali e artificiali, nei quali molto spesso, anche durante il periodo estivo, è presente un deflusso idrico, per quanto modesto, o acqua stagnante. Una falda posta a circa 4 m da p.c., ma che in occasione degli eventi meteorici più intensi può giungere a piano campagna, si riscontra anche nelle alluvioni terrazzate sabbioso limose all'imbocco est della galleria, anche in questo caso sostenuta dal substrato marnoso.

Lungo il tratto in galleria tutti i piezometri installati hanno evidenziato la presenza di una falda idrica che interessa sia le arenarie della Formazione di Lequio, da poco a mediamente permeabili per fratturazione e porosità, sia le poco permeabili marne di S. Agata Fossili. Il livello idrico misurato rimane costantemente al di sopra della galleria con un battente che raggiunge punte massime di circa 40 m in calotta nei settori centrali. Negli scavi in sotterraneo saranno quindi da attendersi condizioni di umidità o limitato stillicidio nei termini marnosi, e stillicidi diffusi nelle arenarie, sino a venute concentrate nei tratti più fratturati.

4.2. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DI PROGETTO

Nell'area interessata dalla galleria S. Lorenzo si possono distinguere le seguenti unità litotecniche:

- **Unità Ab:** Depositi alluvionali terrazzati lungo l'Ermene che perimetrano il corso d'acqua nel tratto compreso fra fine intervento e l'imbocco Est della galleria S. Lorenzo (Quaternario) - sabbie limoso-argillose o limi sabbioso-argillosi con locali livelli di ghiaie;
- **Unità Cs:** Formazione di Cassano-Spinola (Miocene sup.-Messiniano) - deposito post evaporitico in facies di lago mare caratterizzato da una sensibile eterogeneità. A prevalere è la facies sabbioso limosa, spesso superficialmente coinvolta in una serie di fenomeni deformativi ben individuabili sul terreno e riportati nella documentazione di pianificazione territoriale. Un'altra caratteristica di questa unità è la presenza di blocchi grossolani (da pluridecimetri e metri) quarzatici o quarzoarenitici, più frequenti negli orizzonti superficiali (indicativamente nei primi 3-4 m da p.c.);
- **Unità Sa:** Marne di S. Agata Fossili (Tortoniano – Messiniano Inf.) - marne e marne argillose di colore grigio chiaro, talora fossilifere, eterogenee più a livello strutturale che granulometrico. Trattandosi di depositi torbiditici, e come tali tipicamente eterogenei, alla prevalente facies marnosa si affiancano subordinate intercalazioni conglomeratiche, arenacee, sabbiose e ghiaiose (Sar) via via più frequenti nella parte inferiore della successione e che, laddove maggiormente estese, nel profilo geologico e in quello geotecnico sono rappresentate a parte (unità Sar). Laddove l'unità è affiorante o subaffiorante è spesso presente una coltre di

alterazione argilloso marnosa da poco a mediamente consistente di colore marrone (indicata con la sigla Saa);

- **Unità L:** Formazione di Lequio (Tortoniano) - arenarie variamente cementate di colore grigio con subordinate intercalazioni di marne, marne calcaree, conglomerati, calcari e quarziti. Come l'unità di S. Agata si tratta di ammassi strutturalmente complessi classificabili nel campo delle rocce tenere.

La seguente tabella riassume, per le diverse tratte individuate lungo la galleria naturale, il litotipo atteso, la copertura litostatica media, la classe geomeccanica prevista ed i relativi parametri geotecnici:

Tratto		Litotipo	Copertura - m	GSI	m_i	σ_{ci} - MPa	Inviluppo di Hoek-Brown		Inviluppo di Mohr-Coulomb		E - MPa	ν
da	a						m_b	s	c - kPa	$\phi - (^\circ)$		
Imbocco Ovest	1250	Sa *	5-10	30 (30-35)	7	4	0.44	2.40e-4	25	37	500	0.25
1250	1450	Sa	10-35	37 (30-40)	7	4	0.57	5.53e-4	50	33	800	0.25
1450	1800	L	35-85	38 (35-45)	13	5.5	1.11	6.23e-4	100	34	900	0.20
1800	1910	Sa	85-100	35 (30-38)	7	4	0.51	3.87e-4	100	21	700	0.25
1910	2250	L	55-110	49 (45-55)	13	5.5	1.72	2.31e-3	150	33	1100	0.20
2250	2400	L	30-55	46 (40-50)	13	5.5	1.53	1.61e-3	130	34	1000	0.20
2400	Imbocco Est	Sa	5-30	30 (30-40)	7	4	0.44	2.40e-4	38	32	500	0.25

* fronte misto con la possibile presenza di materiale sciolto nella porzione superiore del fronte

5. MATERIALI

SPRITZ-BETON FIBRORINFORZATO

Classe di resistenza C 25/30

Resistenza media su carote $h/D=1$ a 48h ≥ 15 MPa

Resistenza media su carote $h/D=1$ a 28gg ≥ 30 MPa

FIBRE IN ACCIAIO

Dosaggio 30 kg/mc

Filo di acciaio trafilato a freddo ≥ 0.5 mm

Resistenza a trazione ≥ 700 MPa

Rapporto di aspetto L/D compreso tra 50 ed 80

ACCIAIO CENTINE

Centine S275

Piastre S275

Bulloni per piastre di unione centine ad alta resistenza classe 8.8

Catene di collegamento B450C

ACCIAIO PER INFILAGGI METALLICI

Tubi metallici S355 $\varnothing 114.30$ mm, spessore 10 mm

2 vlv/m

Perforazione diametro ≥ 140 mm

TUBI IN VETRORESINA CEMENTATI

Tubi in VTR $\varnothing 60/40$ spessore 10 mm, cementati con miscela cementizia

Perforazione diametro ≥ 100 mm

densità ≥ 1.9 t/mc

resistenza a trazione ≥ 600 MPa

modulo elastico ≥ 15000 MPa

contenuto in vetro in peso $\geq 55\%$

DRENAGGI IN AVANZAMENTO

Tubo in pvc microfessurato ad alta resistenza diametro esterno 60 mm, spessore ≥ 4 mm

Rivestimento esterno del tubo con tessuto non tessuto

Perforazione diametro ≥ 90 mm

CLS RIVESTIMENTO DEFINITIVO

Classe di resistenza C 30/37

Classe di esposizione XC4

Classe di consistenza S4-S5

Rapporto A/C < 0.45

Diametro massimo degli aggregati 25 mm

Copriferro 5 cm

ACCIAIO ARMATURE

Barre tipo B450C

6. PREVISIONE DEL COMPORTAMENTO DEFORMATIVO DEL FRONTE E DEL CAVO

6.1. SEZIONI DI ANALISI PER LA PREVISIONE DELLA RISPOSTA TENSO-DEFORMATIVA

La verifica della stabilità del cavo e dell'adeguatezza delle sezioni tipo associate alle diverse condizioni geomeccaniche è stata realizzata mediante analisi dettagliate, sia in fase di avanzamento che, successivamente, in presenza dei rivestimenti provvisori e definitivi, mediante l'utilizzo dei seguenti modelli matematici:

- modello ad elementi finiti bidimensionali (software Phase2D, Rocscience);
- metodo di Tamez (programma autoprodotta in ambiente Excel).

L'applicazione delle sezioni tipo di avanzamento lungo la galleria è stata fatta tenendo conto delle condizioni di copertura litostatica, caratterizzazione geotecnica e grado di fratturazione/cementazione che caratterizza le formazioni rocciose.

In linea di principio si prevede l'applicazione delle sezioni tipo B0 e B0V nella zona centrale a più elevata copertura, mentre la sezione B2V, più pesante, trova applicazione per le coperture ridotte agli imbocchi, in presenza della porzione alterata e maggiormente fratturata delle marne di S. Agata e per un tratto limitato all'interno della galleria dove si attende questa stessa formazione caratterizzata da un RQD piuttosto basso. In prossimità dell'imbocco Ovest della galleria il tratto di applicazione della sezione tipo B2V è più esteso che dal lato Est in relazione alla presenza di edifici in superficie.

La sezione tipo B0 è prevista in maniera prevalente in corrispondenza dei tratti in cui la galleria attraversa la formazione delle Arenarie di Lequio, e secondariamente potrà essere applicata dove le marne di S. Agata dovessero risultare più massive.

La sezione tipo B0V è prevista sia nelle marne che nelle arenarie dove la qualità rocciosa è mediocre.

Analoghi criteri valgono anche per le sezioni di piazzola. Infatti le piazzole previste entro la formazione delle Arenarie di Lequio verranno realizzate adottando le sezioni tipo P0 e P1, in relazione allo stato di fratturazione della massa rocciosa. In corrispondenza dell'unica piazzola prevista a bassa copertura entro le marne di S. Agata invece, si adotteranno le sezioni tipo P1 e P2.

Sulla base della distribuzione delle sezioni tipo lungo la galleria, sono state individuate 6 sezioni di analisi. Le analisi sono state realizzate associando ai terreni i parametri drenati dell'involuppo di Mohr-Coulomb all'origine per la verifica di stabilità con il metodo di Tamez, ed utilizzando invece i parametri dell'involuppo di Hoek-Brown per le analisi tenso-deformative con il metodo degli elementi finiti.

Nella tabella seguente si riporta l'elenco delle sezioni analizzate ed i relativi parametri di caratterizzazione geotecnica:

Parametro	Sez. B2V		Sez. B0V		Sez. B0			Sez. P1
Litotipo	Sa/Cs	Sa	L	Sa	L			L
Copertura – m	10	90	50	90	70	100	60	70
γ – kN/m ³	20.5		21	20.5	21			21
E - MPa	500		900	700	1100	100	900	1100/800
ν - (-)	0.25		0.20	0.25	0.20			0.20
Inviluppo di Hoek-Brown								
GSI	30		35	38	45	49	40	40
m_i	7		13	7	13			13
σ_{ci} - MPa	4		5.5	4	5.5			5.5
Inviluppo di Mohr-Coulomb – Parametri all'origine								
c' - kPa	0*	7	15	12	20	25	14	14
ϕ' – (°)	19*	34	45	37	48	52	46	46
* ipotesi cautelativa di un fronte interamente entro la formazione di Cassano Spinola								

6.2. SOGLIE DI ATTENZIONE E DI ALLARME

Si riporta nella seguente Tabella 6 1 il campo dei valori attesi di spostamento radiale al contorno di scavo e di estrusione al fronte, derivati dalle analisi condotte, per la cui trattazione dettagliata si rimanda alla Relazione di calcolo della galleria naturale. Questi valori sono stati ottenuti per differenza tra gli spostamenti attesi a fine detensionamento e quelli attesi nella fase in cui presumibilmente si andranno a mettere in opera le mire topografiche per dare inizio alle misure di convergenza. Laddove i valori calcolati siano risultati inferiori ai 5 mm non è stato esplicitato il valore nominale di riferimento in quanto si tratta di valori inferiori alla sensibilità strumentale.

Le analisi proposte hanno dimostrato l'adeguatezza delle sezioni tipo di avanzamento nei confronti del comportamento tenso-deformativo del cavo.

Gli spostamenti attesi sono di ordine centimetrico o pluricentimetrico per tutte le sezioni di analisi, a causa dei bassi valori di resistenza a compressione e modulo elastico che caratterizzano gli ammassi oggetto di scavo, Tabella 6 1.

I valori determinati dal calcolo sono da intendersi quale indicazione qualitativa dei livelli di deformazione attesi, non potendo tenere conto di fattori difficilmente schematizzabili e modellabili numericamente, quali condizioni

geomeccaniche particolari e localizzate, effettiva fasistica esecutiva e cadenze d'avanzamento. Tali valori potranno quindi essere ritirati sulla base dei risultati di "back analysis" effettuate in futuro, man mano che i dati di monitoraggio saranno resi disponibili.

Da questi valori, imponendo un incremento del 20% sulle attese, sono state derivate le "soglie di attenzione". Nell'eventualità che tali soglie vengano superate si procederà alla modifica degli interventi previsti per la sezione tipo adottata all'interno della variabilità prevista nel seguente capitolo 7 o al cambio di sezione tipo e ad un contestuale incremento della frequenza di monitoraggio, secondo le indicazioni che verranno riportate nel seguente capitolo 7.

Le misure del comportamento tenso-deformativo del fronte e del cavo permetteranno in corso d'opera il controllo dei margini di sicurezza rispetto alle situazioni ultime di stabilità, e quindi di poter eventualmente intervenire effettuando una nuova taratura del progetto. Le situazioni ultime possono essere rappresentate attraverso valori limite (o "valori di allarme") delle misure di monitoraggio. Tali limiti sono definiti considerando un'amplificazione dei valori attesi pari al 50%, e sono riassunti nella seguente Tabella 6 2.

Il superamento del valore di allarme dovrà comportare una ritaratura delle soluzioni progettuali individuate, come ad esempio l'adozione di una sezione tipo differente e più robusta e l'avvicinamento al fronte dei getti del rivestimento definitivo.

Tabella 6 1 - Valori attesi derivati dalle analisi effettuate

VALORI ATTESI							
Sezione	Litotipo	Copertura (m)	GSI	Metodo di Tamez		Metodo degli elementi finiti	Estrusione al fronte (mm)
				Stabilità fronte senza interventi	Stabilità lunghezza libera senza interventi	Convergenza diametrale massima (mm)	
B2V	Cs/Sa	10	30	No	No	40	20
B2V	Sa	90	30	Sì (*)	Sì (*)	130	50
B0V	L	50	35	Sì (*)	Sì (*)	15	10
B0V	Sa	90	38	Sì (*)	Sì (*)	100	20
B0	L	70	45	Sì	Sì	10	5
		100	49	Sì	Sì	18	10
		60	40	Sì	Sì	15	8
P1	L	70	40	Sì (*)	Sì (*)	25	10

(*) a meno di locali instabilità correlate ad una riduzione del grado di cementazione

Tabella 6-1 – Valori limite di attenzione e di allarme

VALORI DI SOGLIA							
Sezione	Litotipo	Copertura (m)	GSI	Soglie di attenzione		Soglie di allarme	
				Convergenza diametrale (mm)	Estrusione al fronte (mm)	Convergenza diametrale (mm)	Estrusione al fronte (mm)
B2V	Cs/Sa	10	30	48	24	60	30
B2V	Sa	90	30	156	60	195	75
B0V	L	50	35	18	12	22.5	15
B0V	Sa	90	38	120	24	150	30
B0	L	70	45	12	6	15	7.5
		100	49	22	12	27	15
		60	40	18	10	22.5	12
P1	L	70	40	30	12	37.5	15

6.3. RISCHI CONNESSI ALLO SCAVO

La galleria naturale in oggetto si sviluppa ai due lati all'interno di un ammasso roccioso di caratteristiche scadenti rappresentato dalle marne di S. Agata Fossili, e nella parte centrale all'interno delle Arenarie di Lequio, leggermente più massive, a meno di un breve tratto a elevata copertura in cui è attesa nuovamente la presenza delle marne.

Entrambe le formazioni rocciose che coinvolgono la galleria sono di natura flyschoido-molassica, con continue alternanze di termini marnosi ed arenacei in proporzioni variabili. Non si esclude inoltre la presenza di locali orizzonti a basso grado di cementazione.

Gli indici GSI lungo la galleria sono generalmente compresi tra 30 e 40 entro le marne di S. Agata e tra 35 e 55 entro le arenarie di Lequio. La copertura litostatica varia tra 5 m agli imbocchi e 100-110 m nella parte centrale della galleria. Questi due elementi, uniti ad una resistenza meccanica pari a 4-5.5 MPa e bassi valori dei moduli elastici, fanno sì che le convergenze attese siano di ordine centimetrico e pluricentimetrico e che le plasticizzazioni presentino spessori metrici al contorno di scavo.

In corrispondenza delle zone di imbocco la ridotta copertura litostatica unita alla presenza di coltri detritiche sciolte che potranno localmente lambire il fronte di scavo rendono necessaria l'adozione sistematica di preconsolidamenti al fronte ed al contorno (sezione tipo B2V). Si segnala inoltre la presenza di edifici in prossimità della zona di imbocco lato Ovest, che ha portato ad un ampliamento della tratta di applicazione sistematica della sezione B2V da questo lato.

Dal punto di vista idrogeologico gli ammassi rocciosi oggetto di scavo presentano una permeabilità per fratturazione e porosità da bassa a media nel caso delle arenarie, generalmente bassa nel caso delle marne. Negli scavi in sotterraneo saranno quindi da attendersi condizioni di umidità o limitato stillicidio nei termini marnosi, e stillicidi diffusi nelle arenarie, sino a venute concentrate nei tratti più fratturati.

I possibili rischi connessi con l'avanzamento sono di seguito elencati:

- - Instabilità del fronte e/o del cavo: fenomeni di instabilità del fronte e/o del cavo della galleria dipendono sostanzialmente dalla presenza di tratte del tracciato caratterizzate da parametri geomeccanici scadenti o una locale riduzione del grado di cementazione, nelle zone a bassa copertura e in prossimità degli imbocchi dove materiali sciolti di natura detritica potranno localmente lambire il fronte di scavo.
- - Venute d'acqua concentrate e stillicidi diffusi: per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, si prevede la possibilità di stillicidi intensi nelle tratte più fratturate delle arenarie di Lequio, localmente potranno manifestarsi anche venute concentrate.
- - Interferenza con edifici in superficie: in prossimità dell'imbocco lato Ovest, come precedentemente segnalato, sono presenti degli edifici. Al fine di avanzare in sicurezza in galleria mantenendo l'ammasso quanto possibile in campo elastico e riducendo gli spostamenti al cavo, è prevista in questo tratto l'adozione sistematica della sezione tipo B2V caratterizzata da preconsolidamenti al fronte ed al cavo.

7. CAMPI D'APPLICAZIONE E VARIABILITÀ DELLE SEZIONI TIPO

7.1. CRITERI PER L'APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA

La previsione del comportamento deformativo del fronte e del cavo descritta nel capitolo precedente permetterà, nel corso degli avanzamenti, la verifica dell'adeguatezza della sezione tipo prevista alle reali condizioni geomeccaniche intercettate.

Per la gestione delle presenti Linee Guida è necessaria la conoscenza dei seguenti elementi e la messa in atto delle seguenti attività sistematiche:

- formazione geologica, coperture litostatiche, presenza di edifici sensibili in superficie;
- raccolta dei dati geologici e geomeccanici rilevabili al fronte che consentono una completa caratterizzazione dell'ammasso in esame;
- raccolta dei dati riguardanti le deformazioni superficiali e profonde del fronte (estrusioni) e al contorno del cavo (convergenze) durante l'avanzamento, che consente di valutare in particolare come l'ammasso descritto precedentemente sottoposto ai reali stati tensionali, si comporta all'azione combinata delle operazioni di scavo e di messa in opera degli interventi di stabilizzazione previsti dalla sezione tipo adottata;
- registrazione di tutte le reali fasi di avanzamento quali ad esempio: distanza dal fronte di messa in opera dei priverimenti e dei rivestimenti definitivi e la successione delle fasi di consolidamento.

Per ogni sezione tipo sono state definite le soglie di "attenzione" ed "allarme" inerenti alle deformazioni del fronte e del cavo, a cui far corrispondere quantità maggiori o minori di interventi, nell'ambito della variabilità prevista nel seguente capitolo 7.n, o il cambio di sezione tipo. Le deformazioni attese ed indicate nella presente relazione servono soltanto a fornire indicazioni sul campo dei valori deformativi più probabili per le sezioni già indicate in progetto. Solo quando saranno osservate situazioni geologiche/geomeccaniche sensibilmente differenti da quelle ipotizzate e deformazioni al di fuori dei campi previsti o non tendenti alla stabilizzazione nel tempo o valori anomali, il progettista potrà adottare una sezione diversa da quella prevista, attingendo tra quelle indicate nella tratta in esame sui profili geomeccanici del progetto.

Durante gli avanzamenti verranno raccolti i dati riguardo alle condizioni geologiche e geomeccaniche al fronte di avanzamento, la risposta deformativa del fronte e del cavo, le fasi e le cadenze di avanzamento; la loro elaborazione consentirà di confrontare la situazione così riscontrata con quella di progetto e procedere di conseguenza alla gestione del progetto secondo i criteri seguenti.

- 1- Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevabili al fronte e la risposta deformativa si mantengono all'interno dei valori previsti, si prosegue con l'applicazione della sezione in corso di esecuzione.
- 2- Se la risposta deformativa manifesta la tendenza al miglioramento o, viceversa al raggiungimento della soglia di attenzione del campo ipotizzato, pur non superando la soglia di allerta, tendenza

confermata dall'evidenza dei precedenti rilievi geologici/geotecnici/geomeccanici, il progettista definirà le modifiche da apportare agli interventi di precontenimento e contenimento della sezione tipo prevista in progetto, secondo quanto riportato nella variabilità delle sezioni tipo ai capitoli 7.n, tenendo conto anche di tutte le altre informazioni derivanti dallo scavo.

- 3- Se le condizioni geologiche e geomeccaniche rilevate al fronte di avanzamento manifestano un ulteriore peggioramento rispetto al rilievo precedente pur rimanendo nell'ambito dei parametri caratterizzanti la tratta, il progettista valuta la possibilità di passare ad una sezione più pesante tra quelle previste nella tratta. I valori e le misure registrate in corso d'opera dovranno essere interpretate globalmente, osservando il loro andamento; eventuali oscillazioni anomale delle misure, attribuibili ad un malfunzionamento o ad un incorretto posizionamento dello strumento di misura, dovranno essere escluse. Qualora il contesto riscontrato non corrisponda a nessuno di quelli ipotizzati nella tratta in esame, e di conseguenza nessuna delle sezioni previste possa essere applicata, ma tuttavia tale contesto sia analogo ad altri presenti lungo il tracciato, il progettista individuerà attraverso i medesimi strumenti citati precedentemente, una diversa sezione tipo tra quelle già presenti nel progetto ed applicate in altre tratte. Il caso in cui la situazione riscontrata sia del tutto imprevedibile e non vi siano analogie possibili lungo il tracciato esula dalle presenti linee guida; in tal caso, potranno essere applicate sezioni tipo non previste dal presente progetto, la cui tipologia dovrà essere concordata.

Il cambiamento di sezione tipo o la modifica degli interventi all'interno della variabilità prevista ai capitoli 7.n dovrà considerare la tendenza di comportamento della cavità. L'analisi dovrà essere condotta per un avanzamento di 20 – 25 m per condurre a variazioni nel seguente avanzamento. L'approccio progettuale identifica questo processo come:

- primi 10 – 12 m: situazione di allerta/raccolta dati
- successivi 10 – 12 m: verifica di quanto evidenziato precedentemente, e successiva applicazione della modifica alla sezione tipo di avanzamento

Viceversa il getto del rivestimento definitivo a limitata distanza dal fronte andrà realizzato laddove l'evolversi delle deformazioni del cavo denuncino la mancata efficienza del sistema di confinamento col solo priverivestimento, ovvero laddove le misure di convergenza non mostrino la tendenza ad una stabilizzazione col procedere del fronte di scavo.

7.2. SEZIONI TIPO

Per ogni sezione tipo d'avanzamento vengono descritti di seguito gli interventi previsti da progetto.

La seguente tabella sintetizza per ciascuna sezione tipo il campo di applicazione prevalente, in funzione del contesto geomeccanico. Le zone di applicazione riportate sono comunque da ritenersi indicative e potranno quindi essere variate nel corso della fase di scavo, sulla base di quanto rilevato durante le lavorazioni.

L'avanzamento viene realizzato a piena sezione per tutte le sezioni di scavo che caratterizzano la galleria.

Tabella 7-1 - Campi di applicazione prevalente delle sezioni tipo

Sezione tipo	Tratte di applicazione
B0	Entro le marne Sa e le arenarie L di qualità mediocre (GSI > 42)
B0V	Entro le marne Sa e le arenarie L di qualità medio-bassa (GSI = 35-42)
B2V	Agli imbocchi e nel tratto centrale nelle marne Sa di qualità scadente (GSI = 30-35)
P0	Presso le piazzole entro le arenarie L di qualità mediocre
P1	Presso le piazzole entro le arenarie L e le marne Sa di qualità medio-bassa
P2	Presso le piazzole entro le marne Sa di qualità scadente

7.3. SEZIONE TIPO B0

7.3.1. Campo di applicazione

La sezione tipo B0 è prevista in corrispondenza dei tratti in cui la galleria attraversa la porzione più massiva delle Arenarie di Lequio, e secondariamente potrà essere applicata dove le Marne di S. Agata dovessero risultare più consistenti.

7.3.2. Fasi esecutive

Le fasi realizzative sono le seguenti:

- Scavo. Scavo a piena sezione con sfondi massimi pari a 2 m.
- Prerivestimento. È costituito da 2 centine accoppiate IPN180, con interasse 1 m, rivestite con 0.30 m di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada Ø6 maglia 10x10 cm, di cui 0.05 m di prima fase e 0.25 m di seconda fase.
- Muretta e arco rovescio. Rappresentano la prima parte del rivestimento definitivo messa in opera e vengono gettate ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo; lo spessore minimo dell'arcorovescio è pari a 0.80 m ed entrambe le membrature sono armate.
- Rivestimento definitivo. Viene gettato il rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Ha uno spessore in calotta pari a 0.70 m e non risulta armato.

7.3.3. Variabilità

In relazione al comportamento tenso-deformativo la sezione potrà subire leggere modifiche sull'estensione dello sfondo di avanzamento (1.00-2.00 m), sull'interasse delle centine (1.00m \pm 10%) e secondariamente sulle distanze di getto del rivestimento definitivo.

7.4. SEZIONE TIPO BOV

7.4.1. Campo di applicazione

La sezione BOV è prevista in corrispondenza dei tratti in cui la galleria attraversa la porzione più fratturata delle Arenarie di Lequio o la porzione di caratteristiche mediocri delle Marne di S. Agata.

7.4.2. Fasi esecutive

Le fasi realizzative sono le seguenti:

- a) Stabilizzazione del cavo. L'intervento proposto è costituito da una coronella di n° 51 infilaggi metallici \varnothing 114.3 mm e spessore 10 mm, iniettati con miscele cementizie con 2 vlv/m, aventi una lunghezza di 14 m con una sovrapposizione di 3 m.
- b) Scavo. Scavo a piena sezione con sfondi massimi pari a 1 m.
- c) Prerivestimento. È costituito da 2 centine accoppiate IPN180, con interasse 1 m, rivestite con 0.30 m di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato \varnothing 6 maglia 10x10 cm, di cui 0.05 m di prima fase e 0.25 m di seconda fase.
- d) Muretta ed arco rovescio. Rappresentano la prima parte del rivestimento definitivo messa in opera e vengono gettate ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. L'arco rovescio ha uno spessore minimo pari a 0.90 m ed entrambe le membrature sono sempre armate.
- e) Rivestimento definitivo. Viene gettato il rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Ha uno spessore in calotta variabile tra 0.60 e 1.23 m e non risulta armato.

7.4.3. Variabilità

In relazione al comportamento tenso-deformativo la sezione potrà subire leggere modifiche sulla lunghezza dello sfondo di avanzamento, sull'interasse delle centine, sul numero degli interventi di consolidamento del contorno di scavo e secondariamente sulle distanze di getto del rivestimento definitivo.

7.5. SEZIONE TIPO B2V

7.5.1. Campo di applicazione

La sezione tipo B2V è prevista in corrispondenza delle zone di imbocco in cui si prevede che le Marne di S. Agata presentino un grado di fratturazione ed alterazione più elevato di quello presente a maggiore copertura, e dove localmente, per brevi tratti, il fronte potrà interessare nella parte superiore depositi detritici di copertura.

Secondariamente questa stessa sezione potrà essere adottata nella parte centrale della galleria, dove è prevista la presenza delle Marne di S. Agata a elevata copertura e con caratteristiche geomeccaniche variabili da mediocri a scadenti.

7.5.2. Fasi esecutive

Le fasi realizzative sono le seguenti:

- a) Stabilizzazione del fronte con n° 81 elementi strutturali in VTR cementati, di lunghezza pari a 18 m, con 9 m di sovrapposizione.
- b) Stabilizzazione del cavo. L'intervento proposto è costituito da una coronella di n° 51 infilaggi metallici Ø114,3 mm e spessore 10 mm, iniettati con miscele cementizie con 2 vlv/m, aventi una lunghezza di 14 m con una sovrapposizione di 3,00 m. In presenza di formazioni sciolte, il loro interasse dovrà passare da 0,40 m a 0,35 m, portandone il numero a 57.
- c) Scavo. Scavo a piena sezione con sfondi massimi pari a 1,0 m.
- d) Prerivestimento. È costituito da 2 centine accoppiate IPN200, con interasse 1,0 m, rivestite con 0,30 m di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato Ø6 maglia 10x10 cm, di cui 0,05 m di prima fase e 0,25 m di seconda fase.
- e) Muretta ed arco rovescio. Rappresentano la prima parte del rivestimento definitivo messa in opera e vengono gettate ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri per la tratta centrale, che si riduce ad 1 diametro in corrispondenza delle zone di imbocco, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. L'arco rovescio ha uno spessore minimo pari a 0,90 m ed entrambe le membrature sono sempre armate.
- f) Rivestimento definitivo. Viene gettato il rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte pari a 5 diametri per la tratta centrale, che si riduce a 3 diametri in corrispondenza della zone di imbocco,, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Ha uno spessore in calotta variabile tra 0,60 e 1,23 m e risulta sempre armato.

7.5.3. Variabilità

In relazione al comportamento tenso-deformativo la sezione potrà subire leggere modifiche sulla lunghezza dello sfondo di avanzamento, sull'interasse delle centine, sul numero dei consolidamenti al contorno e al fronte di scavo e secondariamente sulle distanze di getto del rivestimento definitivo.

7.6. SEZIONE TIPO P0

7.6.1. Campo di applicazione

La sezione tipo P0 è prevista in corrispondenza delle piazzole previste entro la porzione più massiva delle Arenarie di Lequio.

7.6.2. Fasi esecutive

La sezione è del tutto analoga alla sezione tipo 1, non richiedendo alcun intervento di preconsolidamento, e le sue fasi realizzative sono le seguenti:

- a) Scavo. Scavo a piena sezione con sfondi massimi pari a 1 m.
- b) Prerivestimento. È costituito da 2 centine accoppiate IPN200, con interasse 1 m, rivestite con 0.35 m di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldada Ø6 maglia 10x10 cm, di cui 0.05 m di prima fase e 0.30 m di seconda fase.
- c) Muretta e arco rovescio. Rappresentano la prima parte del rivestimento definitivo messa in opera e vengono gettate ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo; lo spessore minimo dell'arcorovescio è pari a 0.90 m ed entrambe le membrature risultano armate.
- d) Rivestimento definitivo. Viene gettato il rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Ha uno spessore in calotta pari a 0.80 m e non risulta armato.

7.6.3. Variabilità

In relazione al comportamento tenso-deformativo la sezione potrà subire leggere modifiche sull'estensione dello sfondo di avanzamento, sull'interasse delle centine e secondariamente sulle distanze di getto del rivestimento definitivo.

7.7. SEZIONE TIPO P1

7.7.1. Campo di applicazione

La sezione tipo P1 è prevista in corrispondenza delle piazzole previste entro la porzione più fratturata delle Arenarie di Lequio e secondariamente entro le Marne di S. Agata in presenza di caratteristiche geomeccaniche mediocri.

7.7.2. Fasi esecutive

La sezione è del tutto analoga alla sezione tipo 1, non richiedendo alcun intervento di preconsolidamento, e le sue fasi realizzative sono le seguenti:

- a) Stabilizzazione del cavo. L'intervento proposto è costituito da una coronella di n° 65 infilaggi metallici Ø114.3 mm e spessore 10 mm, iniettati con miscele cementizie con 2 vlv/m, aventi una lunghezza di 14 m con una sovrapposizione di 3 m.
- b) Scavo. Scavo a piena sezione con sfondi massimi pari a 1 m.
- c) Prerivestimento. È costituito da 2 centine accoppiate IPN220, con interasse 1 m, rivestite con 0.35 m di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldata Ø6 maglia 10x10 cm, di cui 0.05 m di prima fase e 0.30 m di seconda fase.
- d) Muretta ed arco rovescio. Rappresentano la prima parte del rivestimento definitivo messa in opera e vengono gettate ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. L'arco rovescio ha uno spessore minimo pari a 1 m ed entrambe le membrature sono sempre armate.
- e) Rivestimento definitivo. Viene gettato il rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte non vincolata, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Ha uno spessore in calotta variabile tra 0.70 e 1.33 m e non risulta armato.

7.7.3. Variabilità

In relazione al comportamento tenso-deformativo la sezione potrà subire leggere modifiche sulla lunghezza dello sfondo di avanzamento, sull'interasse delle centine, sul numero dei consolidamenti al contorno e al fronte di scavo e secondariamente sulle distanze di getto del rivestimento definitivo.

7.8. SEZIONE TIPO P2

7.8.1. Campo di applicazione

La sezione tipo P2 è prevista in corrispondenza delle piazzole previste entro la porzione a caratteristiche geomeccaniche scadenti delle Marne di S. Agata.

7.8.2. Fasi esecutive

La sezione è del tutto analoga alla sezione tipo 1, non richiedendo alcun intervento di preconsolidamento, e le sue fasi realizzative sono le seguenti:

- a) Stabilizzazione del fronte con n° 73 elementi strutturali in VTR cementati, di lunghezza pari a 18 m, con 9 m di sovrapposizione.
- b) Stabilizzazione del cavo. L'intervento proposto è costituito da una coronella di n° 65 infilaggi metallici Ø114.3 mm e spessore 10 mm, iniettati con miscele cementizie con 2 vlv/m, aventi una lunghezza di 14 m con una sovrapposizione di 3 m.
- c) Scavo. Scavo a piena sezione con sfondi massimi pari a 1 m.
- d) Prerivestimento. È costituito da 2 centine accoppiate IPN220, con interasse 1 m, rivestite con 0.35 m di spritz-beton fibrorinforzato o armato con rete elettrosaldato Ø6 maglia 10x10 cm, di cui 0.05 m di prima fase e 0.30 m di seconda fase.
- e) Muretta ed arco rovescio. Rappresentano la prima parte del rivestimento definitivo messa in opera e vengono gettate ad una distanza massima dal fronte pari ad 1 diametro, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. L'arco rovescio ha uno spessore minimo pari a 1 m ed entrambe le membrature sono sempre armate.
- f) Rivestimento definitivo. Viene gettato il rivestimento definitivo ad una distanza massima dal fronte pari a 3 diametri, suscettibile comunque di variazioni in corso d'opera in funzione del comportamento deformativo del cavo. Ha uno spessore in calotta variabile tra 0.70 e 1.33 m e risulta sempre armato.

7.8.3. Variabilità

In relazione al comportamento tenso-deformativo la sezione potrà subire leggere modifiche sulla lunghezza dello sfondo di avanzamento, sull'interasse delle centine, sul numero dei consolidamenti al contorno e al fronte di scavo e secondariamente sulle distanze di getto del rivestimento definitivo.

8. CONCLUSIONI

Nella presente relazione si sono descritte le problematiche tecniche progettuali e le modalità realizzative delle sezioni tipo d'avanzamento previste per la realizzazione della galleria naturale.

La galleria presenta uno sviluppo complessivo di 1411,92 m, di cui 1296 m in naturale ed i restanti in galleria artificiale, con 60 m in corrispondenza dell'imbocco ovest e 55,92 m in quello est, con una unica canna con sezione a ferro di cavallo.

La galleria attraversa la collina di S. Lorenzo, costituita da terreni di natura flyschoido-molassica caratterizzati da alternanze di marne, arenarie, conglomerati e calcari marnosi di qualità geomeccanica da media a scadente. La copertura litostatica varia tra un minimo di circa 5 m agli imbocchi fino ad un massimo di 110 m nel settore centrale

Dopo un richiamo all'inquadramento geologico-geomeccanico approfonditamente descritto nelle apposite relazioni, il presente documento descrive il processo conoscitivo e di caratterizzazione dei materiali che ha condotto alla definizione del progetto.

Lo scavo delle opere in sotterraneo prevede l'impiego di diverse sezioni tipo il cui scopo è quello di garantire il controllo del comportamento tenso-deformativo del cavo e la sua stabilità nel breve e lungo termine. La definizione dei campi di applicazione di ciascuna di esse è stata valutata mediante opportune analisi tenso-deformative, che hanno permesso di stimare per le diverse sezioni tipo i valori di spostamento attesi, i valori di attenzione e di allarme, utili per la valutazione della loro applicazione in avanzamento.

Si sottolinea comunque che tali indicazioni risultano del tutto qualitative, ed andranno adattate in corso d'opera sulla base del confronto tra il comportamento deformativo del cavo, valutato attraverso le misure di convergenza e le informazioni derivanti dalle stazioni di controllo. In aggiunta, la realizzazione di rilievi geomeccanici al fronte di scavo permetterà di prevedere eventuali situazioni imprevedute, e da qui definire le possibili soluzioni progettuali.

Nelle tratte in cui è prevista l'applicazione di più sezioni tipo, le percentuali di applicazione delle stesse, definite nel Profilo Geomeccanico, sono nuovamente indicative. Pertanto un eventuale scostamento dalle suddette lunghezze di applicazione in corso d'opera è del tutto normale e non costituirà quindi una modifica del progetto.